

Determining surface information involves using CCD camera to acquire image of projected structure with periodically variably intensity characteristic shifted by fraction of grid constant

Publication number: DE19930816
Publication date: 2001-01-04
Inventor: SCHOEPE GUENTER (DE)
Applicant: ZEISS CARL JENA GMBH (DE)
Classification:
- International: G01B11/00; G01B11/30; G02B21/00; G02B21/36;
G01B11/00; G01B11/30; G02B21/00; G02B21/36;
(IPC1-7): G01B11/30
- European: G01B11/30
Application number: DE19991030816 19990701
Priority number(s): DE19991030816 19990701

Also published in:



JP2001099610 (A)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE19930816

The method involves using a CCD camera to acquire the image of a projected structure with a periodically variably intensity characteristic shifted by $1/n$ times the grid constant, where n is integral and greater than 2. Information is acquired for each image representing the light field intensity multiplied by the respective grid phase. The sine and cosine components are extracted from the images and used to derive the degree of modulation. An Independent claim is also included for an arrangement for altering a projection direction.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑩ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑩ Offenlegungsschrift
⑩ DE 199 30 816 A 1

⑩ Int. Cl.⁷:
G 01 B 11/30

DE 199 30 816 A 1

⑪ Aktenzeichen: 199 30 816.0
⑫ Anmeldetag: 1. 7. 1999
⑬ Offenlegungstag: 4. 1. 2001

⑪ Anmelder:
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

⑪ Erfinder:
Schöpppe, Günter, 07745 Jena, DE

⑩ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE	197 38 179 C1
DE	33 28 763 C2
DE	35 32 464 A1
DE	93 08 486 U1
US	54 93 400
US	52 62 844
WO	98 45 745 A1
WO	97 06 509 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑩ Verfahren und Vorrichtung zur Tiefenselektion von Mikroskopbildern

⑩ Verfahren zur Ermittlung einer Oberflächeninformation mittels einer aufprojizierten Struktur mit periodisch veränderlichem Helligkeitsverlauf, die um jeweils 1/n, n = ganzzahlig, größer 2, der Gitterkonstante verschoben wird und das Projektionsbild mittels einer CCD-Kamera erfaßt wird, und für jeden Bildpunkt Informationen ermittelt werden, die die Hellfeldintensität multipliziert mit der jeweiligen Gitterphase darstellen, aus diesen Bildern die sinus- und cosinus-Anteil extrahiert werden und daraus

menkörper gekoppelt ist, daß nach mindestens drei Kippstufen eine Änderung der Orientierung des Prismenkörpers erfolgt.

$$I_{xy} = I_{obxy} * m * \sin x$$

$$II: I_{xy} = I_{obxy} * m * \cos x$$

DE 199 30 816 A 1

gebildet werden und aus I. und II. der Modulationsgrad m berechnet und zur Darstellung verwendet wird, mit

$$m = \frac{I_{obxy} * \sqrt{\sin^2 x + \cos^2 x}}{I_{obxy}}$$

sowie

Anordnung zur Änderung der Projektionsrichtung, eines über mindestens einen keilförmigen, um die optische Achse drehbaren Prismenkörper und einer zur optischen Achse verkippbarer Planplatte auf eine Oberfläche projizierten Gitters, wobei die Ansteuerung der Kippbewegung der Planplatte so mit der Drehbewegung des Prismenkörpers gekoppelt ist, daß nach mindestens drei Kippstufen eine Änderung der Orientierung des Prismenkörpers erfolgt.

Beschreibung

Es ist bekannt, mittels strukturierter Beleuchtung sowohl Tiefmessungen in Mikroskopbildern durchzuführen als auch außerhalb der Fokusebene liegende Bildteile zu unterscheiden (AXIOMAP von ZEISS, WO 97/06509, WO 98/45745).

In US 5493400 (DE 93 08 486 U) wird eine schräge Gitterprojektion mittels keilförmiger Glaskörper mit wechselbarer Orientierung erzeugt.

Die Grundlage dieser Verfahren sind aus der Interferenzmikroskopie abgeleitete Verfahren, bei denen in die Objekt ebene projizierte periodische Strukturen in Interferenzmuster umgedeutet und die damit möglichen Auswertungen durchgeführt werden.

Dazu werden Gitter in die Objektebenen abgebildet und um ganzzahlige Bruchteile der Gitterkonstante entweder kontinuierlich über eine bestimmte Zeit (Phasenshift-Verfahren) oder schrittweise (Phase-Step-Verfahren) verschoben. In jedem Zeitintervall bzw. von jeder Stellung des Gitters wird mittels einer pixelexynchronen CCD-Kamera ein Bild eingezogen und die Bilder miteinander verrechnet.

Am einfachsten sind die Verhältnisse zu überschauen, wenn ein Gitter mit \cos^2 - bzw. \sin^2 -förmiger Intensitätsvariation in Richtung der Gitterperiode, z. B. in x-Richtung drei mal um jeweils $\frac{1}{4}$ der Gitterkonstante verschoben wird.

(Prinzipiell funktioniert das Verfahren bei Verschiebungen mit jedem ganzzahligen Bruchteil $< 1/2$ der Gitterkonstante.)

Dabei wird das Bild der Ausgangslage als Bild mit sin-förmiger Intensitätsmodulation senkrecht zur Richtung der Gitterstriche ($\sin x$), das nächste als $\cos x$, das folgende als $-\sin x$ und das letzte als $-\cos x$ gedeutet.

Damit liegen für jeden Bildpunkt Informationen vor, die die Hellfeldintensität multipliziert mit der jeweiligen Gitterphase darstellen. Aus diesen Ausgangsdaten können eine Reihe weiterer interessanter Informationen abgeleitet werden.

Die 4 Bilder können beschrieben werden als:

$$1. I_{xy1} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 + m \cdot \sin x)$$

$$2. I_{xy2} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 + m \cdot \cos x)$$

$$3. I_{xy3} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 - m \cdot \sin x)$$

$$4. I_{xy4} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 - m \cdot \cos x)$$

Bei I_{obxy} ist I_{obxy} die von der Objektstelle x , y zur Abbildung beitragende Intensität (Reflektivität, Transmission, Fluoreszenz), m der Modulationsgrad der Gitterabbildung.

Subtrahiert man 3 von 1, bzw. 4 von 2, dann erhält man:

$$I. I_{xy} = I_{obxy} \cdot m \cdot \sin x$$

$$II. I_{xy} = I_{obxy} \cdot m \cdot \cos x$$

Bei dieser Prozedur verschwinden die Gleichanteile.

Addiert man umgekehrt 3. zu 1. bzw. 4. zu 2., so verschwindet in beiden Fällen die Modulation des Bildinhaltes mit den Winkelfunktionen. Man erhält die Hellfeldbilder A_1 bzw. A_2 :

$$A_1: I_{xy} = I_{xy3} + I_{xy4} = I_{obxy}$$

d. h., in diesen 4 Teilbildern sind 2 vollständige Hellfeldbilder enthalten.

Die Modulation m mit den Winkelfunktionen hat diesen Bildern Informationen über den Abstand zur exakten Fokus ebene aufgeprägt.

In Abhängigkeit von der verwendeten Gitterkonstante, der Objektivapertur, der Wellenlänge und dem Abstand von der Fokusebene ändert sich der Modulationsgrad m der Gitterabbildung.

Bei Verwendung eines Objektives, einer Lichtquelle und eines Gitters bleiben die ersten Einflussfaktoren konstant, d. h. der Modulationsgrad ist bei gegebener Anordnung eine Funktion der Fokussierung.

Dieser Modulationsgrad multipliziert mit der Hellfeldintensität kann aus I. und II. mit Hilfe des trigonometrischen Pythagoras durch einzelnes Quadrieren und anschließendes addieren berechnet werden:

$$I_{obxy} * \sqrt{\sin^2 x + \cos^2 x}$$

$m =$

$$20 \quad \frac{I_{obxy}}{I_{obxy}}$$

I_{obxy}

Stellt man m allein als Funktion des Ortes dar, so erhält man ein "Abstandsbild" der Bildpunkte von der optimalen Fokusebene. Läßt man die Division durch das Hellfeldbild weg, so erhält man eine Information, die der nahezu identisch ist, die in Konfokal-Mikroskopen erhalten werden kann. Die Objekteigenschaften werden mit zunehmendem Abstand von der Objektebene mit immer geringerer Intensität dargestellt, d. h. es wird eine bestimmte Schicht des Objektes dargestellt.

Da der Modulationsgrad $m \leq 1$ ist, kann die Tiefenselektivität durch Potenzieren erhöht werden.

Es ist durch Auswahl der Grenzen, d. h. das Setzen von Schwellwerten für die Darstellung, möglich, eine mehr oder weniger dicke Schicht in einem synthetischen Bild allein darzustellen, indem durch die Schwellwerte alles von der Darstellung ausgeschlossen wird, was vom Fokus entfernt liegt.

40. Begrenzt wird diese Möglichkeit durch das Signal-Rausch-Verhältnis, den Schriftfehlern bei der Gitterverschiebung, den Unlinearitäten bei der Detektion und der Zahl der Stützstellen, mit denen das aufmodulierte Gitter durch die im allgemeinen benutzte CCD-Kamera dargestellt wird.

Prinzipiell können aus den bisher beschriebenen Teilstücken folgende Informationen vom Objekt gewonnen werden:

1. vollständige Hellfeldbilder ohne aufmodulierte Gitterstruktur (A_1, A_2)
2. "Abstandsinformationen" von Objektbereichen vom exakten Fokus (ohne Richtung) (m)
3. Hellfeldinformationen vom Objekt, die mit zunehmendem Abstand vom Fokus dunkler werden (Konfokalbilder) (A_1, A_2)
4. Bilder, bei denen nur eine dünne Schicht um den Fokus als vollständiges Hellfeldbild dargestellt wird (A bei $m > \text{Grenzwert}$)
5. Durch Potenzieren von m einen wählbar kleineren Bereich um den Fokus herum.

Bei zentraler Beleuchtung enthalten die Bilder keine Informationen, ob sich ein ausserhalb der Fokusebene liegender Bildepunkt extra- oder intrafokal befindet.

Durch schiefes Gitterprojektion ist es aber vorteilhaft möglich, diese Information zu gewinnen.

In Abhängigkeit von der Objektöthe sind die Gitterstruktur

che in Richtung der Inzidenz der Beleuchtung mehr oder weniger verschoben.

Aus obenstehenden Gleichungen I. und II. kann dann durch Division analog zu interferenzmikroskopischen Untersuchungen pixelweise eine Phaseninformation φ_{xy} gewonnen werden:

$$\begin{aligned} \sin x \\ \varphi_x = \arctan \frac{\sin x}{\cos x} \\ \cos x \end{aligned}$$

Dabei verschwinden der Modulationsgrad und die Objektintensität.

(Damit kann entschieden (was heißt das – welcher Vorgang läuft ab?) werden, ob das jeweilige Pixel ober- oder unterhalb der Fokusebene liegt.

Durch das Vorzeichen von φ kann entschieden werden, ob das jeweilige Pixel ober- oder unterhalb der Fokusebene liegt. Dabei hängt es von den gerätetechnischen Gegebenheiten und verfahrensmäßigen Vereinbarungen ab, ob ein positives Vorzeichen ober oder unterhalb und umgekehrt bedeutet.

Erfahrungsgemäß besitzen Rekonstruktionsalgorithmen für das Oberflächenprofil besonders bei stark strukturierten Objekten Fehler oder versagen gänzlich, wenn Bereiche mit gringer bzw. ohne Modulation vorhanden sind.

Dem letztgenannten Umstand kann man begegnen, indem man jeweils 4 Bilder für Beleuchtung mit entgegengesetzter Inzidenz gewinnt.

Projektionsabhängige Verzerrungen werden durch Addition der synthetischen Bilder kompensiert.

Es wird nicht die Phase selbst, sondern die gegenseitige Lage der Gitterstriche durch Vergleich ihrer Lage im ersten "Bildquartett" gegenüber ihrer Lage im zweiten ermittelt. Daher ist es vorteilhaft, zusätzlich den Modulationsgrad mit zu bestimmen und solche Bereiche, deren Modulation unterhalb einer bestimmten Schwelle liegt, auf mathematischem Weg von der Darstellung auszuschließen.

Sind die Striche des Gitters in Bild A₁ gegenüber Bild A₂ in eine bestimmte Richtung verschoben, so bedeutet das auch eine aus den anordnungsbedingten Verhältnissen bedingte Richtung der Defokussierung.

Diese Verfahrensweise gestattet – im Gegensatz zu den bekannten Algorithmen – auch die Untersuchung extrem strukturierter und/oder in der Tiefe ausgedehnter Objekte und in Verbindung mit den im Mikroskop sowieso vorhandenen Feinricht durch Gewinnung von Bildern des Objektes aus verschiedenen Ebenen die 3-dimensionale Rekonstruktion solcher Objekte.

Die Verwendung von schiefer Beleuchtung hat für die Tiefenselektivität und die laterale Auflösung des Bildes weitere Vorteile.

Die schiefe Gitterprojektion hat bei regulär reflektierenden Oberflächen mit geneigten Flächen einen weiteren Vorteil.

Durch die Reflexion wird die zurückkehrende Information um den doppelten Neigungswinkel der Flächenelemente zurückgeworfen. Das führt auch bei Verwendung von Objektiven mit höchsten Aperturen zu einer Begrenzung des untersuchbaren Neigungsbereiches auf $\leq 36^\circ$. Durch schiefe Projektion kann der nutzbare Neigungsbereich bei den vorgenannten Verfahren, die nicht zwischen intra- und extrefokaler Lage der Objektteile unterscheiden, um den von 90° verschiedenen Projektionswinkel erweitert werden.

Im AXIOMAP war ein Schieber mit einem Gitter mit \cos^2 -förmiger Intensitätsvariation in die Leuchtfeldblenden-

eine einschiebbar. Das Gitter wurde mit einem Schrittmotor verschoben.

Zwischen Gitter und Aperturlinse war ein umschaltbarer Träger mit zwei gleichen Keilen, aber entgegengesetzter Orientierung angebracht. Damit konnte die Neigung der Beleuchtung verändert werden.

Nachteilig an dieser Vorrichtung war die große Umschaltzeit von einem zu einem anderen Zustand. Es bestand auch ohne Ausbau der Zusatzeinrichtung keine Möglichkeit zur zentralen Beleuchtung.

Diese Nachteile sollen mit der neuen Vorrichtung vermieden werden.

Vorrichtung

In einem in die Leuchtfeldblendenebene eines nicht dargestellten Mikroskopes einsetzbaren nicht dargestellten Schieber befindet sich fest eingebaut ein Gitter G mit vorgezugsweise \cos^2 -förmigem Helligkeitsverlauf.

20 Die Gitterkonstante ist wegen eines guten Kompromisses einer guten Rekonstruierbarkeit des Intensitätsverlaufs im Signal und einer hohen Tiefenselektivität so abgestimmt, daß eine Gitterperiode auf ca. 8–12 Pixel einer CCD-Kamera fällt. Unter diesen Bedingungen wird die Modulationswiederholrate mit Sicherheit mit 95% des tatsächlichen Wertes wiedergegeben.)

Zwischen Gitter und nicht dargestellter Collimatorlinse des Illuminators ist in Fig. 1a ein Planplattenmikrometer PM angeordnet, das durch einen Scanner S (z. B. Galvano-meterscanner) angetrieben stufenweise um eine Drehachse A verkippt wird.

Der Scanner wird so angesteuert, daß durch Verkippen der Planplatte 3–4 jeweils um $\frac{1}{4}$ der Gitterkonstante verschobene Einstellungen des Gitters in der Objektenebene zu stehen kommen. Dabei ist der Scannbereich des Scanners nur teilweise, heispielsweise zu 30% ausgenutzt.

Zwischen Gitter und nicht dargestellter Aperturlinse ist ein schwacher Keil K1 (Prismenkörper) gegen zwei Anschlüsse drehbar angeordnet. Ein weiterer nahezu gleicher Keil K2 ist fest zwischen Planplattenmikrometer PM und nachfolgender nicht dargestellter Optik angeordnet. Die Wirkung beider Keile ist über die jeweiligen Keilwinkel so abgestimmt, daß durch ihre Überlagerung beim Anliegen des Keiles K1 am ersten Anschlag das Bild der Aperturlinse in einer ersten Richtung senkrecht zu den Gitterstrichen verschoben ist, beim Anliegen am anderen Anschlag um den gleichen Betrag in die entgegengesetzte Richtung.

Nachdem die 3–4 Einstellungen vorgenommen wurden, bewegt sich der Scanner in die Nähe einer Endlage und schaltet dabei mit einer Umschaltfeder den beweglichen Keil in einer der beiden Endlagen. Dort wird er durch ein mechanisches Flipp-Flop (ähnlich Lichtschalter) festgehalten. Dies ist in Fig. 2 dargestellt.

Der Keil K1 ist in einer Halterung H in (zwei Richtungen verkipbar) um die opt. Achse AS drehbar angeordnet.

Die Scannerrachse A weist einen Mittenheber M auf, der erst bei Erreichen einer Endlage über einen oberen oder unteren Mitnehmer MO, MU auf die Halterung einwirkt und bewirkt, daß ein Wechsel der Halterung zwischen oberem und unterem Anschlag AO, AU erfolgt.

Fester und beweglicher Keil erzeugen eine resultierende Föderung, die die Dezentrierung der Aperturlinse in der Objektiv-Pupille in einer Richtung senkrecht zu den Gitterstrichen zur Folge haben, wie in Fig. 1b schematisch dargestellt. Damit wird schiefe Beleuchtung in einer Richtung erzeugt.

In einer weiteren Phase des Verfahrens bewegt sich der Scanner in die Nähe der anderen Endlage, so daß der beweg-

liche Keil gegen den anderen Anschlag geschaltet wird und schiefre Beleuchtung mit entgegengesetzter Inzidenz entsteht.

Für die auch mögliche Auswertungen ohne schiefre Beleuchtung wird mittels einer Sperrre der bewegliche Keil in der Mitteilage gehalten, so daß kein Versatz des Bildes der Aperturblende in der Austrittspupille des Mikroskopobjektivs entsteht.

Die Umschaltung der verschiedenen Einstellungen kann sehr rasch (in ca. 2-5 ms) erfolgen. Die Genauigkeit der Bewegung erreicht ohne Schwierigkeiten die erforderliche Genauigkeit von ca. 1/1000 der Gitterkonstante (anderfalls entstehen im ausgewerteten Bild unerwünschte Streifenstrukturen, meist mit 2- bzw. 4-facher Ortsfrequenz des Gitters).

Die Erfassung der Bilddaten erfordert eine pixelsynchrone CCD-Kamera. Es genügt im allgemeinen eine Datentiefe von 8 bit. Die Linearität von CCD-Kameras reicht im allgemeinen nicht aus, um oberwellenfreie Bildrekonstruktionen zu erzeugen. Diesem Mangel kann wie beim AXIOMAP durch eine luck-up-table abgeholfen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung einer Oberflächeninformation mittels einer aufprojizierten Struktur mit periodisch veränderlichem Helligkeitsverlauf, die um jeweils $1/n$, $n = \text{ganzzahlig}$, größer 2, der Gitterkonstante verschoben wird und das Projektionsbild mittels einer CCD-Kamera erfaßt wird, 25 und für jeden Bildpunkt Informationen ermittelt werden, die die Helfeldintensität multipliziert mit der jeweiligen Gitterphase darstellen, aus diesen Bildern die sinus- und cosinus-Anteile extrahiert werden und daraus 30

$$\text{I}_{xy} = I_{obxy} \cdot m \cdot \sin x$$

$$\text{II. } \text{I}_{xy} = I_{obxy} \cdot m \cdot \cos x$$

gebildet werden

und aus I. und II. der Modulationsgrad m berechnet und zur Darstellung verwendet wird, mit

$$I_{obxy} * \sqrt{\sin^2 x + \cos^2 x}$$

$$m = \frac{I_{xy3} - I_{xy4}}{I_{obxy}}$$

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei weiterhin Helfeldbilder A ohne aufmodulierte Gitterstruktur gebildet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, zur Ermittlung einer Oberflächeninformation mittels einer aufprojizierten Struktur mit periodisch veränderlichem Helligkeitsverlauf, die um jeweils $1/4$ der Gitterkonstante verschoben wird und das Projektionsbild mittels einer CCD-Kamera erfaßt wird, und für jeden Bildpunkt Informationen ermittelt werden, die die Helfeldintensität multipliziert mit der jeweiligen Gitterphase darstellen, beschrieben als:

$$1. \text{I}_{xy1} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 + m \cdot \sin x)$$

$$2. \text{I}_{xy2} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 + m \cdot \cos x)$$

$$3. \text{I}_{xy3} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 - m \cdot \sin x)$$

$$4. \text{I}_{xy4} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 - m \cdot \cos x),$$

wobei 3 von 1 sowie 4 von 2 subtrahiert werden, so daß I, II entstehen als

$$\text{I. } \text{I}_{xy} = I_{obxy} \cdot m \cdot \sin x$$

$$\text{II. } \text{I}_{xy} = I_{obxy} \cdot m \cdot \cos x,$$

und aus I. und II. der Modulationsgrad m berechnet und zur Darstellung verwendet wird, mit

$$I_{obxy} * \sqrt{\sin^2 x + \cos^2 x}$$

$$m = \frac{I_{xy3} - I_{xy4}}{I_{obxy}}$$

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei 3. zu 1. bzw. 4. zu 2. addiert werden, so daß in beiden Fällen die Modulation des Bildinhaltes mit den Winkelfunktionen verschwindet und man aus den vier Teilstücken die vollständigen Helfeldbilder A_1 bzw. A_2 erhält:

$$A_1: \text{I}_{xy} = \text{I}_{xy3} + \text{I}_{xy1} = I_{obxy}$$

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1-4, wobei

1. vollständige Helfeldbilder ohne aufmodulierte Gitterstruktur (A_1, A_2) und/oder

2. "Abstandsinformationen" von Objektbereichen vom exakten Fokus (ohne Richtung) (m) und/oder

3. Helfeldinformationen vom Objekt, die mit zunehmendem Abstand vom Fokus dunkler werden (Konfokalsbilder) ($A \cdot m$) und/oder

4. Bilder, bei denen nur eine dünne Schicht um den Fokus als vollständiges Helfeldbild dargestellt wird (A bei $m > \text{Grenzwert}$) und/oder

5. Bilder aus m mit n größer 1 potenziert

zur Darstellung verwendet werden.

6. Verfahren zur Ermittlung einer Oberflächeninformation mittels einer aufprojizierten Struktur mit periodisch veränderlichem Helligkeitsverlauf, die um jeweils $1/4$ der Gitterkonstante verschoben wird, wobei das Projektionsbild mittels einer CCD-Kamera erfaßt wird und die Struktur unter einem Winkel ungleich 90 Grad aufprojiziert wird, wobei jeweils n Bilder für Beleuchtung unter entgegengesetzte etwa gleichen Projektionswinkel aufgenommen werden, aus diesen jeweils ein synthetisches Bild gewonnen wird und diese Bilder separat als Stereobildpaar und/oder addiert dargestellt werden.

7. Verfahren zur Ermittlung einer Oberflächeninformation mittels einer aufprojizierten Struktur mit periodisch veränderlichem Helligkeitsverlauf, die um jeweils $1/n$, n größer 2 der Gitterkonstante verschoben wird und das Projektionsbild mittels einer CCD-Kamera erfaßt wird, und für jeden Bildpunkt Informationen ermittelt werden, die die Helfeldintensität multipliziert mit der jeweiligen Gitterphase darstellen, aus diesen Bildern die sinus- und cosinus-Anteile extrahiert werden und daraus

$$I_{obxy} * \sqrt{\sin^2 x + \cos^2 x}$$

$$\text{II. } I_{xy} = I_{obxy} \cdot m \cdot \cos x,$$

gebildet werden und aus I. und II. durch Division eine Phaseninformation φ_{xy} gewonnen wird, um das jeweilige Pixel oberhalb oder unterhalb der Fokusebene zuzuordnen:

$$\sin x$$

$$\varphi_{xy} = \arctan \frac{\sin x}{\cos x} \quad 10$$

8. Verfahren zur Ermittlung einer Oberflächeninformation mittels einer aufprojizierten Struktur mit periodisch veränderlichem Helligkeitsverlauf, die um jeweils $\frac{1}{4}$ der Gitterkonstante verschoben wird, wobei das Projektionsbild mittels einer CCD-Kamera erfaßt wird und die Struktur unter einem Winkel ungleich 90 Grad aufprojiziert wird, wobei jeweils 4 Bilder für Beleuchtung unter entgegengesetzten gleichen Projektionswinkeln aufgenommen werden, jeweils beschrieben als:

$$1. I_{xy1} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 + m \cdot \sin x) \quad 25$$

$$2. I_{xy2} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 + m \cdot \cos x)$$

$$3. I_{xy3} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 - m \cdot \sin x)$$

$$4. I_{xy4} = 0.5 I_{obxy} \cdot (1 - m \cdot \cos x), \quad 30$$

wobei 3 von 1 sowie 4 von 2 subtrahiert werden, so daß I, II entstehen als

$$\text{I. } I_{xy} = I_{obxy} \cdot m \cdot \sin x \quad 35$$

$$\text{II. } I_{xy} = I_{obxy} \cdot m \cdot \cos x,$$

und aus I. und II. kann durch Division eine Phaseninformation φ_{xy} gewonnen werden, um das jeweilige Pixel oberhalb oder unterhalb der Fokusebene zuzuordnen:

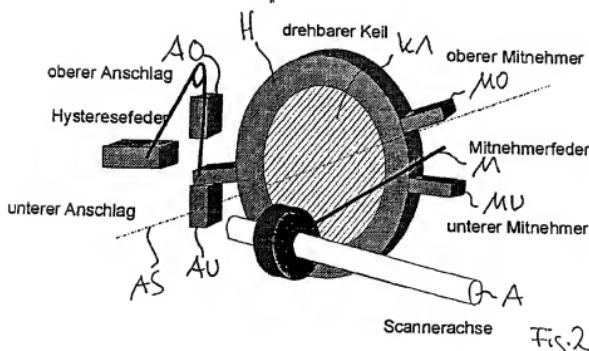
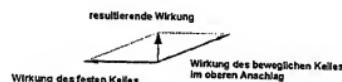
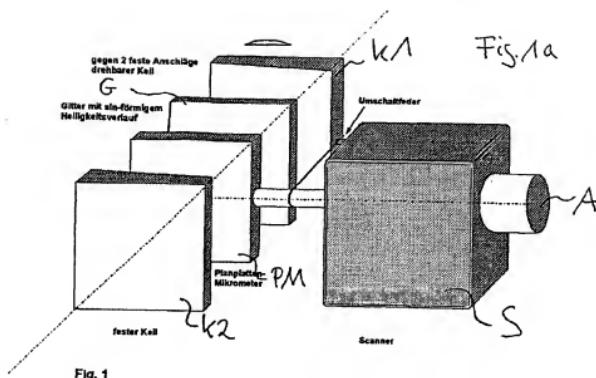
$$\sin x$$

$$\varphi_{xy} = \arctan \frac{\sin x}{\cos x} \quad 45$$

9. Anordnung zur Änderung der Projektionsrichtung, insbesondere nach einem der Ansprüche 1–8, eines über mindestens einen keilförmigen, um die optische Achse drehbaren Prismenkörper und eine zur optischen Achse verkippbares Plattenstück auf eine Oberfläche projizierten Gitters, wobei die Ansteuerung der Kippbewegung der Platte so mit der Drehbewegung des Prismenkörpers gekoppelt ist, daß nach mindestens drei Kippstufen eine Änderung der Orientierung des Prismenkörpers erfolgt.

10. Anordnung nach Anspruch 9, wobei ein zweiter feststehender Prismenkörper im Strahlengang vorgenommen ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



Prinzip des Keilrichtungswechsels